



**University of
Zurich^{UZH}**

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2011

Die Rolle der Bildgebung in der Herzchirurgie

Plass, André

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-72639>

Habilitation

Originally published at:

Plass, André. Die Rolle der Bildgebung in der Herzchirurgie. 2011, University of Zurich, Faculty of Medicine.

HABILITATIONSSCHRIFT

Die Rolle der Bildgebung in der Herzchirurgie

Zur Erlangung der Venia Legendi der Universität Zürich

Zürich, Juli 2011

Dr. André Plass

Klinik für Herz-und Gefässchirurgie, UniversitätsSpital Zürich

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Herzchirurgie, Techniken und Technologien	3
2.1. Der Beginn	3
2.2. Minimal-invasive Herzchirurgie	4
3. Kardiale Bildgebung	5
3.1. Einsatzbereiche und Verantwortlichkeiten	5
3.2. Die Computertomographie - eine neue Möglichkeit der Herzdarstellung	9
3.3. Präoperative Planung	13
3.4. Intraoperative Navigation und postoperative Nachkontrollen	17
4. Zusammenfassung	19
5. Referenzen	20

1. Einleitung

In der Herzchirurgie spielt die Bildgebung eine zunehmend wichtigere Rolle. Dies ist zum einen bedingt durch die Kombination von Entwicklung neuer oder verbesserter Bildgebungstechniken und Möglichkeiten der Anwendung zur Optimierung von Operationen, zum anderen durch neue chirurgische Techniken mit dem spezifischen Bedarf von Bildgebung wie vor allem bei der minimal-invasiven Chirurgie. Dies wiederum bedeutet den zunehmenden Einsatz von Bildgebung nicht nur bei der Diagnostik, sondern auch bei der Vorbereitung auf eine Operation als auch während verschiedener Eingriffe. Ausserdem kann durch bildgebende postoperative Nachkontrollen eine Qualitätssicherung erfolgen und mögliche Komplikationen genauer spezifiziert werden. Die Klinik für Herz- und Gefässchirurgie des Universitätsspital Zürich beschäftigt sich intensiv mit den Möglichkeiten der kardialen Bildgebung und wirkt vor allem aktiv bei deren Weiterentwicklung als auch optimalen Einsatz im klinischen Alltag mit.

2. Herzchirurgie, Techniken und Technologien

2.1. Der Beginn

Die Herzchirurgie ist eine der jüngsten chirurgischen Fachrichtungen und schon von Beginn an eng mit technologischen Neuerungen und Notwendigkeiten verknüpft. Eine der wichtigsten in diesem Fachbereich war die Herz-Lungen-Maschine, durch John H. Gibbon im Jahre 1953 entwickelt, die erst ermöglichte, dass sich die Herzchirurgie als eigenständige Fachrichtung etablieren konnte und als Konsequenz die Zahl von offenen Herzeingriffen rapide zunahm (1). Auch

therapeutische Devices wie Klappenprothesen wurden stetig weiter verbessert hinsichtlich Haltbarkeit und Hämodynamik.

2.2. Minimal-invasive Herzchirurgie

Eine wichtige Entwicklung mit rasanten Fortschritten ist die minimal-invasive Herzchirurgie, die in drei Kategorien einzuteilen ist:

1. Operativer, minimal-invasiver Zugangsweg: Verzicht auf die Eröffnung des Brustbeins (Sternotomie) und stattdessen Durchführung der Operation wie der Ersatz oder die Rekonstruktion der Aorten- als auch Mitralklappe durch eine laterale Thorakotomie oder in endoskopischer „Schlüsselloch-Technik“. Eine Herz-Lunge-Maschine kommt dabei zum Einsatz.
2. Verzicht auf Einsatz der Herz-Lungenmaschine: Die aortokoronare Bypasschirurgie (ACBP) in „Off-pump Technik“ ohne Herz-Lungen-Maschine ist weniger invasiv. Der Zugangsweg erfolgt über eine Sternotomie.
3. Minimal-invasiver Zugangsweg mit Verzicht auf Herz-Lungen-Maschine: Dies ist möglich bei der koronaren Bypasschirurgie via lateraler, linksseitiger Minithorakotomie (MIDCAB: Minimally Invasive Direct Coronary Artery Bypass) am schlagenden Herzen. Auch Transkatheter- Klappen werden in Aortenposition durch minimal-invasive Zugangswege - linksseitige Thorakotomie über die Herzspitze (antegrad) oder inguinal, perkutan über die Aorta (retrograd) – ohne Einsatz einer Herz-Lunge-Maschine implantiert.

Abgesehen von der off-pump ACBP via Sternotomie werden zunehmend kleinere Zugangswege (rechts- und linksseitige Thorakotomien, endoskopisch, perkutan)

gewählt. Dies hat zur Folge, dass der Herzchirurg nicht mehr das gesamte Operationsfeld bzw. alle wichtigen mediastinalen Strukturen im Blickfeld hat und damit einen erschwerten Überblick über das gesamte operative Geschehen besitzt. Aufgrund dieser Limitation ist eine ausführlichere, präoperative Vorbereitung vorteilhaft, um entsprechend genügend Informationen über das mögliche Operationsvorgehen zu erhalten, aber auch intraoperative Bildgebung, die einen „indirekten“ Blick ins Operationsfeld ermöglichen. In diesem Zusammenhang gewinnt die Bildgebung zunehmend an Bedeutung in der Herzchirurgie.

3. Kardiale Bildgebung

3.1. Einsatzbereiche und Verantwortlichkeiten

Die medizinische Bildgebung kann in der Chirurgie respektive Herzchirurgie in vier Bereiche eingeteilt werden:

1. Diagnostische Bildgebung
2. Bildgebung zur präoperativen Planung und Simulation
3. Intraoperative Bildgebung zur Navigation
4. Postoperative Bildgebung zur Verlaufs- und Qualitätskontrolle

Der optimale Einsatz der prä-, intra- und postoperativen Bildgebung setzt eine dynamische und gut aufeinander abgestimmte interdisziplinäre Zusammenarbeit aller beteiligten Spezialisten, Herzchirurgen und Radiologen, voraus (Bild1)

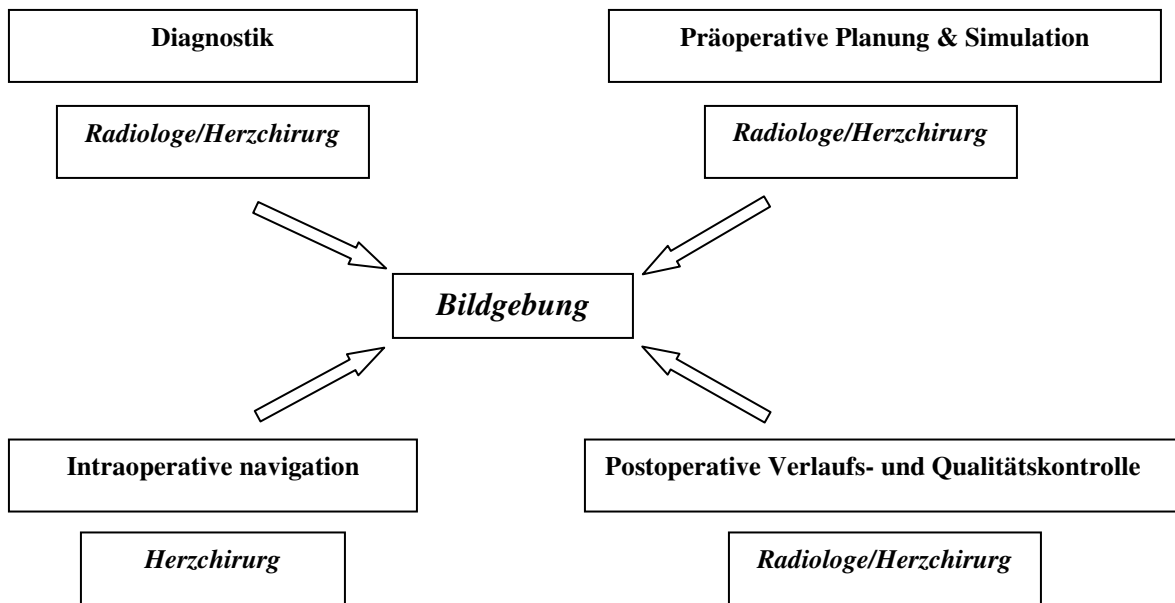


Bild 1. Die Bildgebung in Herzchirurgie erfüllt mehrere Rollen: Diagnostik, präoperative Planung, intraoperative Navigation als auch postoperative Verlaufskontrolle. Um diese verschiedenen Aufgaben optimal abzudecken ist eine aktive interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Radiologie und Herzchirurgie essentiell.

Die Bildgebung diente vor allem in der Vergangenheit hauptsächlich zur Diagnostik. Mittels verschiedener Techniken konnten kardiale Krankheitsbilder ermittelt oder ausgeschlossen werden. Aber schon die Diagnostik nimmt Einfluss auf mögliche nächste therapeutische Schritte. Radiologen sind spezialisiert auf den bestmöglichen Einsatz von bildgebenden Techniken als auch auf die Erkennung jeglicher Pathologien, die Therapie selbst sollte mit dem weiterbehandelnden Arzt, in diesem Fall der Herzchirurg, abgestimmt werden. Dabei ist es aber wiederum sinnvoll, diesen so früh als möglich bei der Diagnostik zu involvieren, da in gewissen Fällen speziell modifizierte Bilder und Ansichten notwendig sind, um über das optimale weitere Vorgehen zu entscheiden. Dabei sollte der Herzchirurg aber nicht nur „passiv“ die Diagnosen entgegennehmen, sondern interaktiv bei der

Diagnosestellung und Entscheid etwaiger therapeutischer Schritte mitwirken (siehe Bild 2).

In einer unserer Studien haben wir die Koronardiagnostik mittels MSCT in Einzelschritten definiert und analysiert. Diese wurden anschliessend der entsprechenden Zuständigkeit von Herzchirurgen und Radiologen zugeordnet. Gewisse Arbeitsabläufe können optimal nur durch den Radiologen erfolgen, da dieser mit allen verschiedenen Soft- und Hardwarefunktionen vertraut ist und diese so einzusetzen weiss, damit die bestmögliche Bildqualität erreicht wird. Diese wiederum ist Voraussetzung zur gesicherten Erkennung von Pathologien wie Koronarstenosen. Herzchirurgen wiederum sind nicht nur interessiert an der generellen Detektion von Pathologien wie eben den Koronarstenosen, sondern auch an detaillierter Analyse hinsichtlich Lokalisation und Beschaffenheit, da diese auch über ein etwaiges therapeutisches Vorgehen entscheiden müssen. Aus diesem Grund bestehen zwischen der Ansichtsweise eines Radiologen und eines Herzchirurgen gewisse Unterschiede.

Aus diesem Grund haben wir ein spezifisch auf Herzchirurgen modifiziertes Protokoll zur Koronarabklärung mittels Mehrschicht-Computertomographie entwickelt (2). Es wurde darauf geachtet, welche spezifischen Schritte durch den Herzchirurgen und welche durch den Radiologen durchgeführt werden sollten. Hierbei ist es wichtig zu erkennen, welche Bearbeitungs- und Auswertungsschritte zum Entscheid der Behandlungsstrategie einer koronaren Herzerkrankung beitragen. Diese sollten durch den Herzchirurgen selbst oder zumindest in Zusammenarbeit mit diesem durchgeführt werden. Vor allem der Grad der Koronarstenose und die Lokalisation sind dabei entscheidend.

In unserer Studie konnten wir zeigen, wenn Herzchirurgen die Fähigkeit erlangen dieses spezifisch zusammengestellte Auswertungsprotokoll an designierten Workstations anzuwenden, kann er sehr gute Auswertungsgenauigkeit mit dem

MSCT erreichen mit einer Sensitivität von 91%, Spezifität von 99% und positive/negative prädiktiven Werte von 92%/99% im Vergleich zum Goldstandard `Koronarangiographie` (2). Das bedeutet eine gute Einsetzbarkeit der CT zur Ausschlussdiagnostik von koronarer Herzerkrankung, aber vor allem zeigt es ein mögliches erweitertes Anwendungsspektrum der MSCT für Herzchirurgen. Obwohl in gewissen Fällen eine eindeutige Diagnose einer KHK und die genaue Verifizierung der signifikanten Engstellen in den Koronarien mittels MSCT möglich ist, wird das verfügbare Bildmaterial nicht zur Planung der Therapie verwendet (z.B. koronare Bypass-Operation) und automatisch eine invasive Katheteruntersuchung durchgeführt, primär weil sich der Operateur `wohler` fühlt an der gewohnten Workstation mit entsprechendem Bildmaterial der invasiven Koronarangiographie .

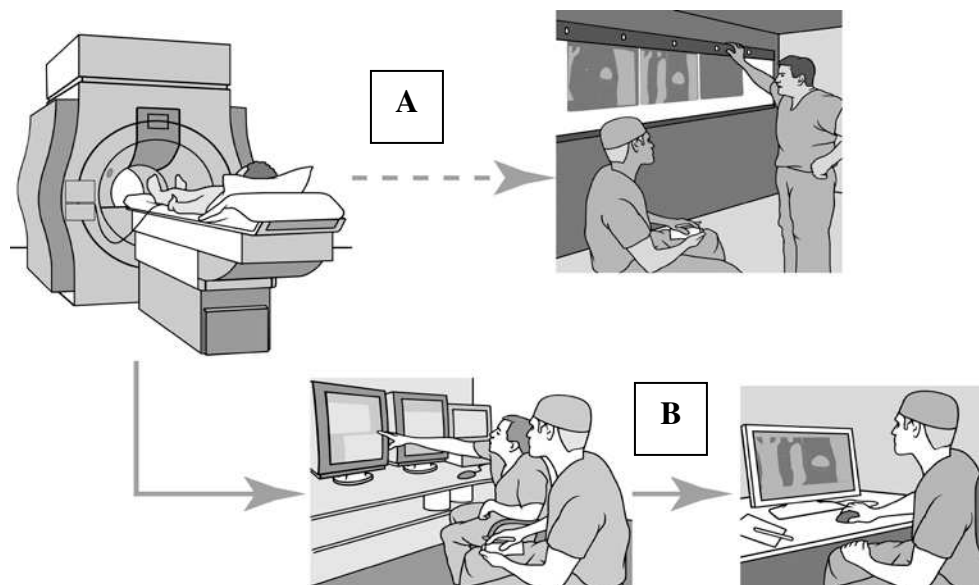


Bild 2. Der Auswertungsvorgang A ist nicht ideal, es stellt den Herzchirurgen als passiven Zuhörer des Diagnose stellenden Radiologen dar. Dagegen zeigt der Pfad B eine bessere Vorgehensweise: Eine interaktive Besprechung der Auswertungsmaterialien zwischen Herzchirurg und Radiologe, als auch die Fähigkeit des Herzchirurgen eine Workstation zumindest in den Grundlagen selbstständig zu bedienen.

3.2. Die Computertomographie – ein neue Möglichkeit der Herzdarstellung

Wir haben uns schon frühzeitig seit Einführung der Mehrschicht-Computertomographie (MSCT) mit deren Verwendung für kardiale Diagnostik aus Sicht des Herzchirurgen beschäftigt. Schon bei der Verwendung des 16-Zeilen MSCT stellte sich ein vielversprechendes Potential für Herzuntersuchungen dar, wobei die Bildqualität noch nicht geeignet war, um in der klinischen Routine verwendet zu werden. In einer Vergleichsstudie 16-MSCT versus dem Goldstandard, der invasiven Koronarangiographie, 9% aller ausgewerteten Segmente waren nicht sicher beurteilbar, das wiederum zur Folge hatte, dass mehr als 50% aller untersuchten Patienten nicht komplett abgeklärt werden konnten (3). Die Nachfolgenerationen der Mehrschicht-Computertomographie ermöglichten zunehmend grössere räumliche und zeitliche Auflösungen. Die Bildqualitäten konnten weiter verbessert werden und seit der Generation des 64-MSCT kann diese als nicht-invasive alternative Möglichkeit zur invasiven Kathetertechnik zur Koronardiagnostik zum Einsatz kommen, vor allem bei Patienten mit niedrigen und mittlerem kardiovaskulärem Risiko (4).

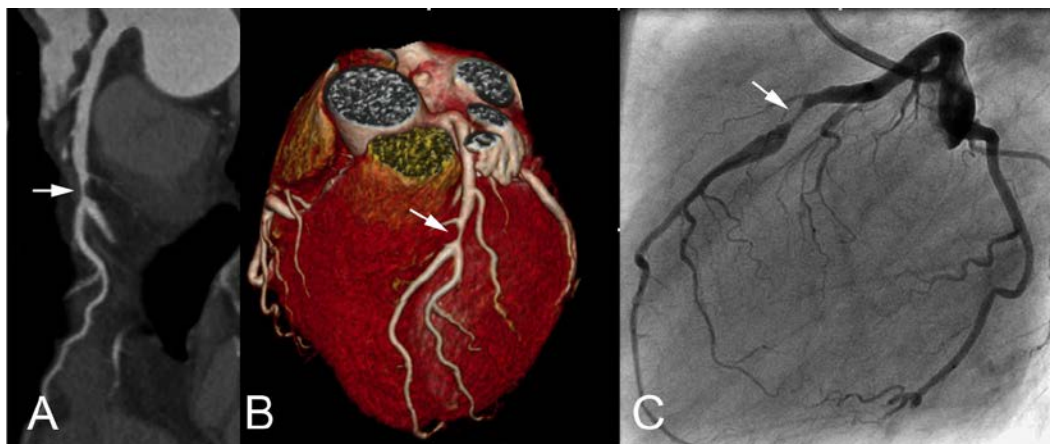


Bild 3. Eine 2D und 3D 64-MSCT Angiographie der Koronargefässe. Diese zeigt die hochsignifikante Stenose im Bereich des Ramus interventricularis mit sehr guter topographischer Lokalisierung in der 3D Aufnahme (Volume rendering) (Pfeile A/B). Im Vergleich dazu der Goldstandard in Form der invasiven Kathetertechnik, die diesen Befund bestätigt (Pfeil C).

Bei Bildgebung unter Benutzung von Röntgenstrahlung wie der Computertomographie ist neben der Bildqualität auch die Strahlenbelastung bei einer Untersuchung entscheidend für die Anwendung in der klinischen Routine. Auch bei herzchirurgischen CT-Untersuchungen wurde dies stetig versucht zu optimieren. Dies kann man durch Modifikationen im Bereich der Soft- als auch Hardware. Mit der Einführung des „Step-and-Shoot modes“, das eine Änderung der applizierten Software bedeutet und dabei der Tischvorschub und der entsprechende Zeitpunkt der Aufnahmen neu koordiniert werden, gelingt eine Strahlenreduktion von 10 bis zu unter 2.5 mSievert. Dabei blieb aber die Sensitivität, Spezifität, der positive als auch negative prädiktive Wert mit 100%, 93%, 94% und 100% im Vergleich zur Koronarangiographie (5). Ein weiterer Vorteil ist die mögliche Anwendung dieses Softwareprotokolls bei handelsüblichen Computertomographen ohne wesentliche zusätzliche technische Neuerungen. Auch die Beachtung der individuellen Herzfrequenz und des Body Mass Index zum Zeitpunkt der CT-Untersuchung ermöglicht die Verringerung der Strahlenbelastung (6). Eine weitere Möglichkeit zur Senkung der Strahlung ist die Optimierung des Zeitfensters der EKG Pulsung. Eine weitere Studie zeigt, dass diese im Bereich von 70% des R-R Intervalls liegt (7).

Die Strahlenbelastung und Bildqualität wurde zudem durch die Nachfolgenerationen von Computertomographen, die in der Lage sind immer schneller bessere Bilddaten zu liefern, ebenfalls weiter verringert. Mit der Einführung des Dual-Source Computertomographen, ein von der Firma Siemens entwickeltes Gerät, bei dem zwei unabhängig voneinander regelbare Energiequellen, die um 90° voneinander versetzt angeordnet sind, und Röntgenstrahlung aussenden, ermöglicht unter anderem eine Halbierung der Aufzeichnungszeit. In einer unserer Studien konnten wir aufzeigen, dass somit

vereinfacht kardiale Scans mit weniger als 1 mSievert angefertigt werden können (8).

Neben der stetigen Verbesserung der Bildqualität und der Verringerung der Strahlenbelastung, konnte das Anwendungsspektrum der Computertomographie im kardialen Bereich stetig erweitert werden. Neben den Koronargefäßen, können auch das Myokard und Herzkammern auf Anomalien und Pathologien sehr gut im CT erfasst werden. Beim „myokardialen Bridging“ handelt es sich um Muskelbrücken von Koronarien. Diese können einen potentiellen Einfluss für mögliche Myokardischämien sein, wobei noch nicht eindeutig der Einflussgrad eindeutig geklärt ist. Eine unserer Studien zeigt die Möglichkeit der Detektion von diesen Muskelbrücken durch CT-Diagnostik. Therapeutisch hat dies noch keine direkte Konsequenz, wobei ein potentielles Stenting in diesen Koronarabschnitten in Betracht gezogen werden kann. Ausserdem kann die 3D Darstellung auch hilfreich sein beim Auffinden der optimalen Position der distalen Anastomose eines Bypassgrafts, falls dieser notwendig sein sollte aufgrund zusätzlicher signifikanter Stenosen (9). Mögliche Herztumore und Thromben sind ebenfalls in der CT sehr gut darstellbar aufgrund der Möglichkeit der zwei- und dreidimensionalen Verarbeitung mit verschiedenen Ansichten. Damit lassen sich diese sehr gut vermessen, die Basis und Form der jeweiligen Struktur evaluieren und einen detaillierten präoperativen Plan erstellen (10).

Ausserdem beschäftigten sich unsere Studien mit CT-Untersuchungen für Aorten- und Mitralklappen, zum einen im Vergleich zum Goldstandard Echokardiographie, zum anderen als Verlaufskontrolle von Klappenprothesen, spezifisch zur Untersuchung von Prothesenverkalkung. Wir konnten in einer Studie mit dem 64-MSCT sehr gut eine Aortenklappeninsuffizienz diagnostizieren, im Vergleich zur Echokardiographie ergab es keinen signifikanten Unterschied (11). Auch bei der Differenzierung von bi- und trikuspiden Aortenklappen zeigt die CT eine hohe

Sensitivität und Spezifität mit 94% respektive 100% (12). Diese exakte Analyse kann zukünftig eine Rolle bei der Planung von Transkatheterklappenimplantationen spielen. Auch eine vielfältige Analyse des Mitralklappenapparates ist mittels CT zwei- und dreidimensional möglich, das Annulusform, -grösse als auch –bewegung beinhaltet (13). Diese Informationen können hilfreich zur Planung einer Operation als auch der erste Schritt für eine mögliche patientenindividuelle Deviceentwicklung (in diesem Fall ein Annuloplastierung) darstellen. Wir konnten in verschiedenen Studien weiterführende und vielfältige Ergebnisse bei der Klappendiagnostik durch CT erzielen, wobei die Echokardiographie als funktionelles Bildgebungsgerät ohne Strahlenbelastung weiterhin als erste Wahl zur Untersuchung der Herzklappen zu betrachten ist. Aber für Bestimmung der Kalkanteile im Bereich der Klappe in Kombination mit Planungsprotokollen zeigt sich wiederum das CT besser geeignet (11-14). Wir konnten in einer Langzeitverlaufskontrolle nach biologischer Aortenklappenimplantation in bis zu 90% der Patienten nur wenig und keine Verkalkung im Prothesenbereich feststellen. Ausserdem wurden verschiedene Vermessungen durchgeführt, die als Grundlage für ein Planungsprotokolls einer möglichen Klappe-in-Klappe Tanskatheterimplantation dienten (14).

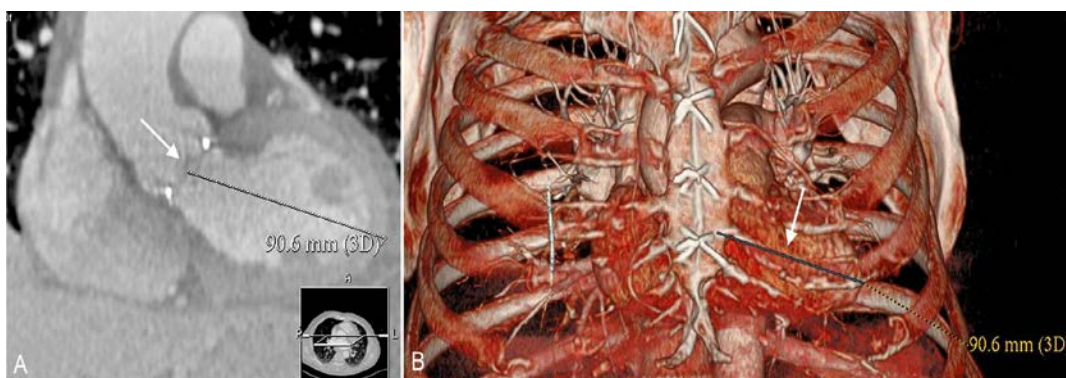


Bild 4. Darstellung einer biologischen Aortenklappenprothese in 2D (A, Pfeil) und Längen- als auch Richtungsbestimmung zur präoperativen Planung einer kathetertechnischen transapikalen Klappe-in-Klappe Implantation in 2D(A) und 3D (B) CT Bildgebung.

3.3. Präoperative Planung

In der Vergangenheit war die Erstellung von Planungsprotokollen basierend auf Bildmaterialien noch limitiert. Meist wurde das gleiche Untersuchungsmaterial, das zur Diagnose eines Krankheitsbildes führte, zur Vorbereitung eines therapeutischen Eingriffs verwendet. Aber durch Neu- und Weiterentwicklungen in verschiedenen Bildgebungstechniken, vor allem eben in der Computertomographie, ist es nun möglich zusätzliche Untersuchungen durchzuführen, die zur spezifischen präoperativen Planung und Vorbereitung eines Eingriffs dienen.

Die Durchführung der Planung sollte in der Hauptverantwortung des behandelnden Arztes und damit des Herzchirurgen liegen, da nur dieser am besten entscheiden kann, welches Verfahren für den Patienten optimal ist und vor allem wie dieses genau durchgeführt werden soll. Die Erstellung der Planungsprotokolle und die Durchführung der Untersuchung sollten in Zusammenarbeit mit einem Radiologen erfolgen um das gesamte Spektrum im Bereich Soft- und Hardware des verwendeten Bildgebungsgerätes zu nutzen. Unter anderem entwickelten wir ein Planungsprotokoll zur Implantation eines Devices in den Koronarsinus zur Behandlung einer schweren Mitralklappeninsuffizienz (15). Bei den Patienten wurde eine wenig strahlenbelastende Computertomographie des Brustkorbs durchgeführt. In diesen Bilddatensätzen wurden virtuelle Auswertungen und Vermessungen erstellt. Neben strukturellen Vermessungen und topographischen Distanzbestimmungen wurden auch anatomische Gegebenheiten und deren Bezug zueinander analysiert (Bild 5 B). Letzteres konnte auch gewissen Risiken und mögliche Funktionseinschränkungen verdeutlichen. Bestimmt wurden unter anderem die Länge und das Volumen des Koronarsinus, um eine Implantation mit der richtigen Stentgröße und der optimalen Position zu planen.

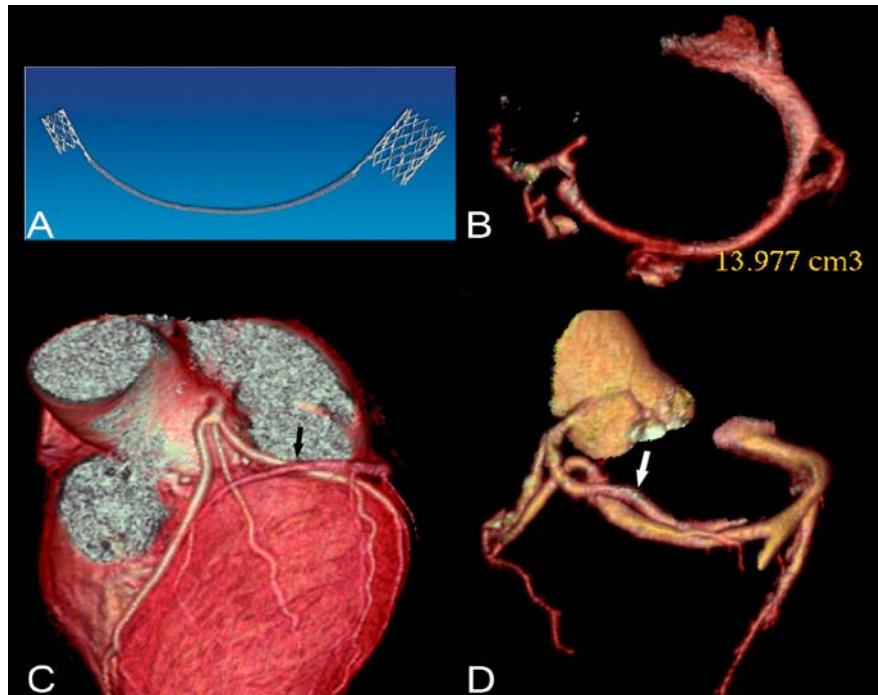


Bild 5. Das Monarch Nitinol-Device (Edwards Lifesciences) (A) wird in den Koronarsinus kathetertechnisch implantiert wird. Mittels MSCT sind exakte Vermessungen des Koronarsinus und aller umgebenden Strukturen möglich (B). Ausserdem lassen sich topographische Beziehungen exakt in 3D darstellen, wie der Koronarsinus zum Ramus circumflexus (C,D).

Wir haben die Beziehung zwischen der circumflexen Koronararterie und dem Koronarsinus betrachtet. Die Arterie kann unter, über und parallel zum Sinus verlaufen (Bild 5 C,D). Dies hat einen Einfluss auf eine mögliche Kompression der Koronararterie nach Deviceimplantation. Wir konnten zeigen, dass bei ca. 30% der Patienten die Koronararterie unter dem Koronarsinus verläuft und sich im Schnittbereich der beiden Gefässe der Durchmesser der Arterie verringert. Es ist nur eine geringe Verkleinerung des Durchmessers, kann aber bei einer Deviceimplantation eine grosse Rolle spielen.

Ferner konnten wir auch feststellen, dass der Koronarsinus nicht immer die gleiche Position zum Mitralklappenannulus besitzt. In 12% der Patienten war der Verlauf des Koronarsinus soweit entfernt vom Mitralklappenannulus, so dass eine Wirkung eines implantierten Devices fraglich erscheint. Und von den parallel zum Annulus

verlaufenden Koronarsinus, verliefen nur 34% auf Höhe des Annulus, das wahrscheinlich nur dann eine optimale Wirksamkeit des Devices ermöglicht (Bild 6).

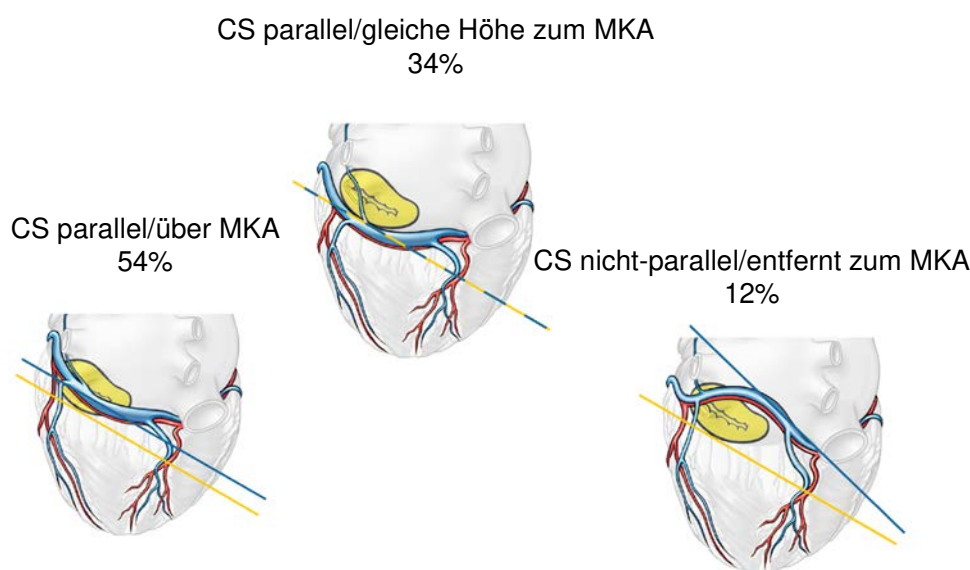


Bild 6. Mögliche Positionen des Coronarsinus (CS) zum Mitralklappenannulus (MKA), die für die Wirksamkeit eines in den Coronarsinus implantierten Monarc Nitinol Devices eine Rolle spielen können.

Neben der Darstellung von Implantationsszenarien und präoperativer Planung hatten die Resultate auch einen gewissen Einfluss auch auf die weitere Entwicklung und Erfolgsaussichten dieser neuen Technik.

Für eine Bypass-Operation an den Koronarien gewinnt die ausführlichere präoperative Vorbereitung und Planung mittels Bildgebung ebenfalls eine zunehmend wichtigere Rolle. Der bisherige Goldstandard in Form einer alleinigen Koronarangiographie zur Entscheidung der therapeutischen Strategie erscheint nicht mehr ausreichend, weitere Abklärungen hinsichtlich Stressischämie und

Vitalität des Myokards mittels PET, SPECT oder MRT ermöglichen essentielle Informationen über die genaue Ausdehnung einer koronaren Herzerkrankung.

Vor allem die Kombination von verschiedenen Auswertungstechniken bringt wesentliche Vorteile. In einer Studie konnten wir eine signifikante Verbesserung in Hinblick auf Auswertungsgenauigkeit einer koronaren Herzerkrankung durch Kombination des computertomographisch ermittelten Calcium Scores und eines MRT demonstrieren (16). Ausserdem ist die Kombination als auch Fusion (auch in 3D) von Bilddaten von Multi-Slice CT mit Perfusionsdaten von PET, SPECT oder MRT möglich (Bild 6). Diese Untersuchungspakete ermöglichen vielfältige Zusatzinformationen bei koronarer Herzerkrankung (17-19). Diese könnten wiederum weitere Behandlungsschritte wie eine ACBP Operation beeinflussen. Das dies zu einer möglichen Optimierung von koronarer Revaskularisierung führen könnte, zeigt eine weitere Studie, bei der bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung, die durch eine invasive Koronarangiographie diagnostiziert wurde, zusätzliche Untersuchungen des Myokards mit einer Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und eine MSCT durchgeführt wurden.

Diese Datensätze wurden miteinander fusioniert. Dabei erfolgte nach Durchführung eines Stress/Rest-Tests mittels Adenosin eine exakte Ischämieabklärung und die Korrelation mit der exakten anatomischen Darstellung der Koronarstenosen. Die anschliessenden Herzeingriffe erfolgten basierend auf den Ergebnissen der Koronarangiographie wie in der bisherigen klinischen Routine üblich, die Operateure erhielten keine Daten der MSCT-PET-Fusionsuntersuchungen. Wir untersuchten postoperativ die Anzahl und Lokalisation von Bypass-Grafts und verglichen diese mit der tatsächlichen Notwendigkeit hinsichtlich einer zu versorgenden Ischämie. Wir konnten in unserer Studie feststellen, dass nur 48% der Bypass-Grafts in ischämische Regionen platziert wurden, und 14% auf vernarbtes und 38% auf normal durchblutetes Myokard (20).

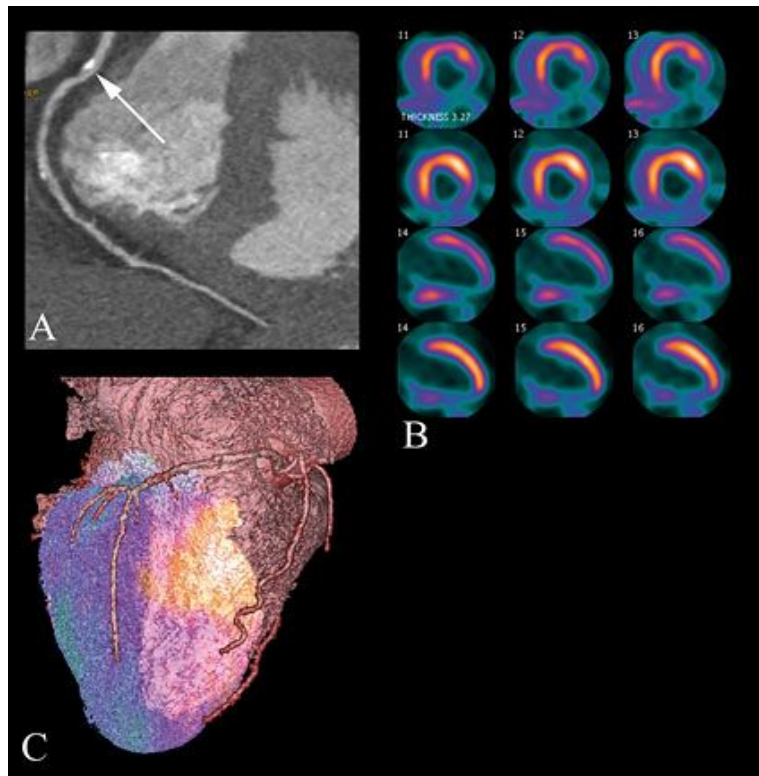


Bild 6. CT-Darstellung einer signifikanten Stenose in der rechten Koronararterie (A), das entsprechende Korrelat in der Perfusionsdiagnostik mittels Positronen-Emissions-Tomographie (B) und die Fusion beider bildgebenden Modalitäten (C).

Dies zeigt, dass es in der koronaren Bypasschirurgie noch Spielraum gibt im Bereich der Diagnostik und Planung zur optimierten Durchführung von Eingriffen. Wir werten aktuell eine Studie aus, bei der wir Myokardperfusionsuntersuchungen mittels MRT vor und nach chirurgischer Koronarrevaskularisation miteinander vergleichen. Weitere wichtige Daten kann eine prospektive Studie erbringen, bei der die eine Patientengruppe auf konventioneller Diagnostik basierend (Invasive Koronarangiographie) und die andere Patientengruppe mit zusätzlicher Perfusionsabklärung operiert werden und anschliessend die Anzahl der Bypass-Grafts als auch das weitere Patienten-Outcome miteinander verglichen werden.

3.4. Intraoperative Navigation und postoperative Nachkontrollen

Auch intraoperativ kommen zunehmend Bildgebungstechniken zum Einsatz. Eine wesentliche Innovation ist die Entwicklung des Hybrid-Operationssaals. Es handelt sich dabei um einen voll funktionstüchtigen Operationssaal kombiniert mit einer Bildgebungsanlage (meist Angio-Fluoroskopie) (Bild 7).



Bild 7. *Hybrid-Operationssaal im UniversitätsSpital Zürich*

Der Hybrid-Operationssaal ermöglicht intraoperative Bildgebung während operativer Eingriffe, die primär zur Navigation bei minimal invasiven respektive Kathetereingriffen dient, aber auch zur sofortigen intraoperativen Kontrolle operativer Resultate benutzt wird. Hierbei ist die Implantation von Transkatheterklappen zu nennen, die nur mittels Bildgebung möglich ist. Dieser Klappenimplantationstechnik wird ein grosses Potential vorhergesagt, dass sich auch in der steigenden Anzahl der weltweit durchgeführten Eingriffe reflektiert. Weitere Eingriffe sind Hybrideingriffe bei koronaren Bypassoperationen, bei denen ein bis zwei Bypässe im linksseitigen Koronarbereich in MIDCAB Technik

durchgeführt werden und die rechte Koronararterie bei Bedarf mit einem Stent versorgt wird.

Eine weitere wichtige intraoperative Bildgebung ist die 3D transösophagale Echokardiographie. Diese ermöglicht mittlerweile eine real-time dreidimensionale, funktionelle Darstellung des Herzens, dass sowohl zur Diagnostik und Planung neue Möglichkeiten bietet, aber vor allem intraoperativ eine zunehmend wichtigere Rolle spielen wird.

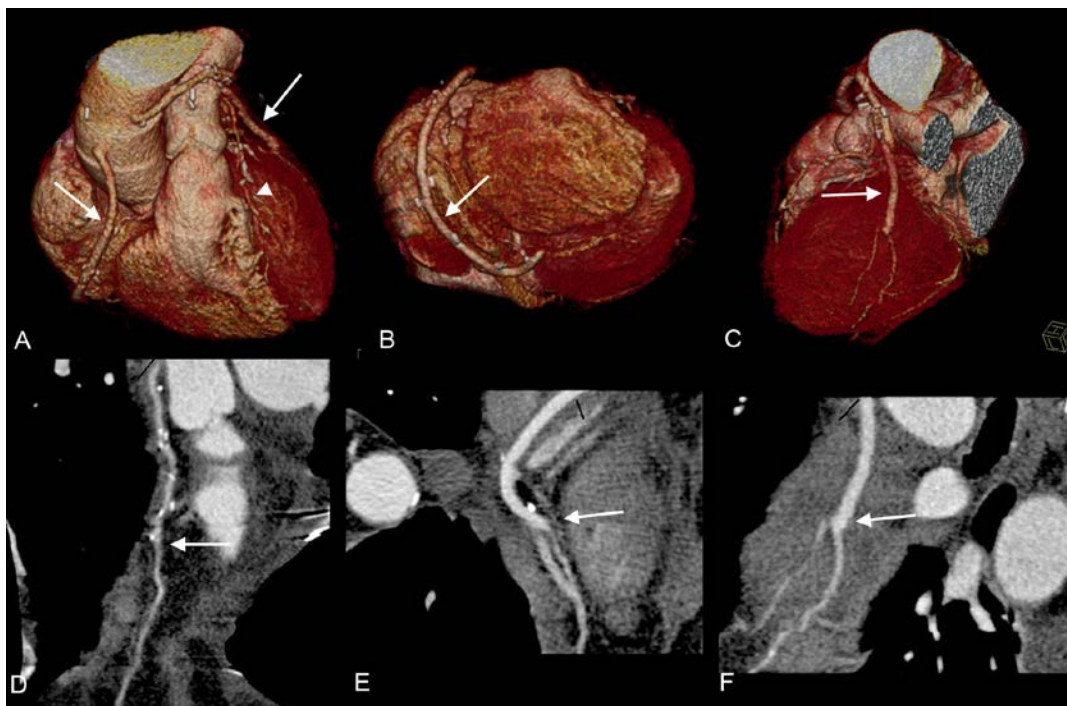


Bild 8. Postoperative Kontrolle nach aortokoronarer Bypass-Operation. Untersuchung und Darstellung der Lage (in 3D, A/B/C) und distalen Anastomosen (in 2D, D/E/F) des arteriellen (D) und der venösen (E/F) Bypassgrafts. In Bild A sind alle drei Bypassgrafts - venös (Pfeile) und arteriell/A.mammaria (Pfeilspitze) - sichtbar, in den Bildern B und C der komplette Verlauf der venösen Grafts zum Ramus interventricularis posterior (B) und zum Ramus circumflexus dargestellt.

Durch nicht-invasive Möglichkeiten zur Untersuchung des Herzens wie Echokardiographie, CT oder MRT, die keine oder zunehmend weniger

Strahlenbelastung für den Patienten besitzen, sind Verlaufs- bzw. Qualitätskontrollen möglich. Während dies bei Herzklappenchirurgie mittels Echokardiographie schon zum klinischen Standard gehört, ist es nun auch möglich mittels Computertomographie mit niedrigster Strahlenbelastung (ca. 1mSievert) koronare Bypass-Grafts im postoperativen Verlauf auf Durchgängigkeit zu kontrollieren (Bild 8). Im Gegensatz zu einer invasiven Untersuchung mittels Kathetertechnik stellt die nicht-invasive CT-Technik eine für Patienten schnelle und bequeme Möglichkeit für eine valide Nachkontrolle dar.

4. Zusammenfassung

Die Bildgebung spielte für den Herzchirurgen in der Vergangenheit eine notwendige aber untergeordnete Rolle. Aufgrund der zunehmenden Wichtigkeit der Bildgebung im Bereich der Herzchirurgie hat diese nun auch einen zunehmenden Anteil bei der täglichen klinischen Routine, innerhalb als auch ausserhalb des Operationssaals. Davon profitieren letztendlich Patienten, da dadurch ein optimales und modernes Behandlungsregime vor, während und nach der Operation gewährleistet wird.

5. Referenzen

1. Hill JD. John H. Gibbon, Jr. Part I. The development of the first successful heart-lung machine. *Ann Thorac Surg* 1982;34:337-41.
2. Plass A, Azemaj N, Scheffel H, Desbiolles L, Alkadhi H, Genoni M, Falk V, Grunenfelder J. Accuracy of dual-source computed tomography coronary angiography: evaluation with a standardised protocol for cardiac surgeons. *Eur J Cardiothorac Surg* 2009;36:1011-7.
3. Plass A, Baumert B, Haussler A, Grunenfelder J, Wildermuth S, Eberli FR, Zund G, Genoni M. Sixteen-channel multidetector row computed tomography versus coronary angiography in a surgical view. *Heart Surg Forum* 2006;9:E572-8.
4. Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, Mark D, Min J, O'Gara P, Rubin GD. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation* 122:e525-55.
5. Scheffel H, Alkadhi H, Leschka S, Plass A, Desbiolles L, Guber I, Krauss T, Gruenenfelder J, Genoni M, Luescher TF, Marincek B, Stolzmann P. Low-dose CT coronary angiography in the step-and-shoot mode: diagnostic performance. *Heart* 2008;94:1132-7.
6. Alkadhi H, Stolzmann P, Scheffel H, Desbiolles L, Baumuller S, Plass A, Genoni M, Marincek B, Leschka S. Radiation dose of cardiac dual-source CT: the effect of tailoring the protocol to patient-specific parameters. *Eur J Radiol* 2008;68:385-91.
7. Leschka S, Scheffel H, Desbiolles L, Plass A, Gaemperli O, Valenta I, Husmann L, Flohr TG, Genoni M, Marincek B, Kaufmann PA, Alkadhi H. Image quality and reconstruction intervals of dual-source CT coronary angiography: recommendations for ECG-pulsing windowing. *Invest Radiol* 2007;42:543-9.
8. Scheffel H, Alkadhi H, Plass A, Vachenauer R, Desbiolles L, Gaemperli O, Schepis T, Frauenfelder T, Schertler T, Husmann L, Grunenfelder J, Genoni M, Kaufmann PA, Marincek B, Leschka S. Accuracy of dual-source CT coronary angiography: First experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol* 2006;16:2739-47.
9. Leschka S, Koepfli P, Husmann L, Plass A, Vachenauer R, Gaemperli O, Schepis T, Genoni M, Marincek B, Eberli FR, Kaufmann PA, Alkadhi H. Myocardial bridging: depiction rate and morphology at CT coronary angiography--comparison with conventional coronary angiography. *Radiology* 2008;246:754-62.
10. Scheffel H, Baumueller S, Stolzmann P, Leschka S, Plass A, Alkadhi H, Schertler T. Atrial myxomas and thrombi: comparison of imaging features on CT. *AJR Am J Roentgenol* 2009;192:639-45.
11. Alkadhi H, Desbiolles L, Husmann L, Plass A, Leschka S, Scheffel H, Vachenauer R, Schepis T, Gaemperli O, Flohr TG, Genoni M, Marincek B, Jenni R, Kaufmann PA, Frauenfelder T. Aortic regurgitation: assessment with 64-section CT. *Radiology* 2007;245:111-21.

12. Alkadhi H, Leschka S, Trindade PT, Feuchtner G, Stolzmann P, Plass A, Baumueller S. Cardiac CT for the differentiation of bicuspid and tricuspid aortic valves: comparison with echocardiography and surgery. *AJR Am J Roentgenol* 2010 195:900-8.
13. Alkadhi H, Desbiolles L, Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, Plass A, Schertler T, Trindade PT, Genoni M, Cattin P, Marincek B, Frauenfelder T. Mitral annular shape, size, and motion in normals and in patients with cardiomyopathy: evaluation with computed tomography. *Invest Radiol* 2009;44:218-25.
14. Grunenfelder J, Plass A, Alkadhi H, Genoni M. Evaluation of biological aortic valve prostheses by dual source computer tomography and anatomic measurements for potential transapical valve-in-valve procedure. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2008;7:195-9; discussion 199-200.
15. Plass A, Valenta I, Gaemperli O, Kaufmann P, Alkadhi H, Zund G, Grunenfelder J, Genoni M. Assessment of coronary sinus anatomy between normal and insufficient mitral valves by multi-slice computertomography for mitral annuloplasty device implantation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008;33:583-9.
16. Stolzmann P, Alkadhi H, Scheffel H, Plass A, Leschka S, Falk V, Kozerke S, Wyss C, Donati OF. Combining cardiac magnetic resonance and computed tomography coronary calcium scoring: added value for the assessment of morphological coronary disease? *Int J Cardiovasc Imaging* 2010.
17. Donati OF, Alkadhi H, Scheffel H, Kuehnel C, Hennemuth A, Wyss C, Azemaj N, Plass A, Kozerke S, Falk V, Leschka S, Stolzmann P. 3D Fusion of Functional Cardiac Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography Coronary Angiography: Accuracy and Added Clinical Value. *Invest Radiol* 2011; 46: 331-40.
18. Donati OF, Scheffel H, Stolzmann P, Baumuller S, Plass A, Leschka S, Alkadhi H. Combined cardiac CT and MRI for the comprehensive workup of hemodynamically relevant coronary stenoses. *AJR Am J Roentgenol* 2010;194:920-6.
19. Scheffel H, Stolzmann P, Alkadhi H, Azemaj N, Plass A, Baumueller S, Desbiolles L, Leschka S, Kozerke S, Falk V, Boesiger P, Wyss C, Marincek B, Donati OF. Low-dose CT and cardiac MR for the diagnosis of coronary artery disease: accuracy of single and combined approaches. *Int J Cardiovasc Imaging* 2010; 26:579-90.
20. Plass A, Emmert MY, Gaemperli O, Alkadhi H, Kaufmann P, Falk V, Gruenenfelder J. The potential value of Positron Emission Tomography / Dual Source Computed Tomography Imaging in Coronary Bypass Surgery *Heart Surg Forum* 2011;in press.